



A-20

## INFLUENCIA DEL PATRÓN EN LA ADAPTACIÓN DEL ALMENDRO FRENTE AL ESTRÉS HÍDRICO

Álvarez, S. (P), Martín, H., Fernández, E., Barajas, E., Rubio-Cano, J.A.

Unidad de Cultivos Leñosos y Hortícolas, Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León (ITACYL), Ctra. Burgos km. 119, 47071, Valladolid, España.

(P) Investigador [alvmarsa@itacyl.es](mailto:alvmarsa@itacyl.es)

### Resumen

En las últimas décadas el cultivo del almendro ha experimentado una gran transformación, pasando de ser un cultivo marginal a constituir un cultivo principal y ocupando en la actualidad amplias zonas de regadío. Sin embargo, la implantación de un sistema de riego no siempre es posible y numerosas plantaciones de almendro continúan realizándose en secano. En estas condiciones la elección del material vegetal adecuado es un factor importante y existe una presión considerable en el sector agrícola para producir de modo más eficiente, reduciendo la cantidad de agua aplicada. Se pretende conocer la respuesta fisiológica al déficit hídrico de plantas de almendro (*Prunus dulcis* L. cv. Soleta) autorradicadas o injertadas en Rootpac20, mediante el estudio de las relaciones hídricas, crecimiento, transpiración e intercambio gaseoso. La respuesta fisiológica fue evaluada durante un ciclo de estrés hídrico (supresión del riego durante 20 días) y un posterior ciclo de recuperación en plantas en maceta creciendo en invernadero. Los resultados mostraron diferentes respuestas de la variedad Soleta dependiendo de la presencia o no de patrón. El desarrollo de las plantas se vio afectado por el régimen hídrico y la biomasa foliar se redujo en las plantas en las que el riego fue suprimido. El estrés hídrico redujo el diámetro del tronco en los dos formatos, pero el patrón Rootpac20 marcó de una manera más acusada este comportamiento. La evapotranspiración se redujo según descendió la humedad del sustrato. Cuando el riego se restableció en las plantas del tratamiento deficitario, los valores de evapotranspiración aumentaron, pero permanecieron más bajos que las plantas regadas durante todo el ensayo. El pie franco minimizó la reducción de la fotosíntesis durante la fase de estrés y facilitó la recuperación cuando el riego se restableció, consiguiendo mejor estado hídrico y una rehidratación más rápida que las plantas injertadas sobre patrón Rootpac20.

### 1) Introducción

El almendro es una especie muy tolerante a la sequía, pero en regadío su producción aumenta considerablemente (Girona, 1992). El almendro es una especie con mucha facilidad de adaptación a un amplio rango de disponibilidades hídricas. La mayoría de la superficie de almendro a nivel mundial es cultivada bajo condiciones de secano, pero la mayoría de la producción se obtiene bajo riego, ya que la productividad de este cultivo está directamente relacionada con la cantidad de agua aplicada (Espadafor et al. 2017). Sin embargo, la implantación de un sistema de riego no siempre es posible y en España numerosas plantaciones de almendro continúan realizándose en condiciones de secano. Todo esto ha creado la necesidad de disponer de una amplia gama de variedades y patrones capaces de dar respuesta a los nuevos problemas planteados (Gijón et al. 2010). En este contexto de escasez de agua, la elección del material vegetal adecuado es un factor importante a tener en cuenta.

## 2) Objetivos

El objetivo de este trabajo ha sido conocer la respuesta morfológica y fisiológica de la variedad 'Soleta' sometida a estrés hídrico, mediante el estudio de las relaciones hídricas, crecimiento, transpiración e intercambio gaseoso de plantas de almendro autorradicadas o injertadas sobre patrón Rootpac20.

## 3) Materiales y Métodos

En esta experiencia se emplearon 80 plantas de almendro (*Prunus dulcis* (Mill) D. A. Webb.) cv 'Soleta' de un año de edad, que en junio de 2018 fueron trasplantadas a macetas de 5 L de volumen y trasladadas a un invernadero. El sustrato fue una mezcla de fibra de coco, turba negra + turba rubia y vermiculita (8:7:1). La mitad de las plantas eran autorradicadas (A) y la otra mitad estaban injertadas sobre patrón Rootpac20 (Rp). Estas macetas, tanto autorradicadas como injertadas, se regaron diariamente a capacidad de campo durante 3 semanas, y a partir de ahí fueron sometidas a dos tratamientos diferenciales de riego durante 55 días: un tratamiento regado diariamente a capacidad de campo durante todo el ensayo (Regadío, R) y un tratamiento en donde el riego fue suprimido durante 20 días (fase de estrés; Doy 198-217) (Secano, S). Después de este tiempo y hasta el final del ensayo, las plantas se sometieron a un período de recuperación de 35 días, regándose diariamente a capacidad de campo (fase de recuperación, doy 218-255). De esta manera quedaron establecidos los 4 tratamientos (20 plantas/tratamiento): AS (plantas autorradicadas en secano), AR (plantas autorradicadas bien regadas), RpS (injerto sobre Rootpac20 en secano) y RpR (injerto sobre Rootpac20 bien regadas).

Para la evaluación del crecimiento se realizó un muestreo destructivo en 8 plantas por tratamiento al final de la fase de estrés y recuperación, en el que se determinó el peso seco aéreo y se midió el área foliar, usando un medidor de área Delta-T (Device Ltd., Cambridge, UK). Periódicamente se midió la altura de la planta y el diámetro de tronco con un calibre en 20 plantas por tratamiento.

El consumo diario por planta se calculó en cinco plantas por tratamiento como pérdida de peso entre dos riegos consecutivos (peso después del riego menos peso antes del riego del día siguiente). Durante el experimento, se realizó el seguimiento del estado hídrico de la planta con medidas del potencial de tallo ( $\Psi_t$ ), contenido relativo de agua (CRA) y parámetros de intercambio gaseoso, así como la humedad volumétrica del sustrato. El potencial de tallo se midió con una cámara de presión tipo Scholander (Mod. 3000, Soil Moisture Equipment Co., Santa Barbara, CA, USA) en hojas que habían estado previamente tapadas, mientras que el CRA fue calculado como  $[(PF-PS)/(PT-PS)] \times 100$ , donde PF, PS y PT son peso fresco, seco y turgente foliar, respectivamente. En la medida de la conductancia estomática ( $g_s$ ) y la tasa de fotosíntesis neta ( $P_n$ ) se utilizó un aparato portátil LI-COR 6400 (LI-COR Inc, Lincoln, NE, USA). Estas medidas se realizaron al mediodía solar en 6 plantas por tratamiento. La humedad volumétrica del sustrato se calculó pesando la maceta antes y después del riego, en cinco plantas por tratamiento. La significación de los tratamientos fue analizada mediante un análisis de varianza multifactorial, usando el programa Statgraphics Plus.

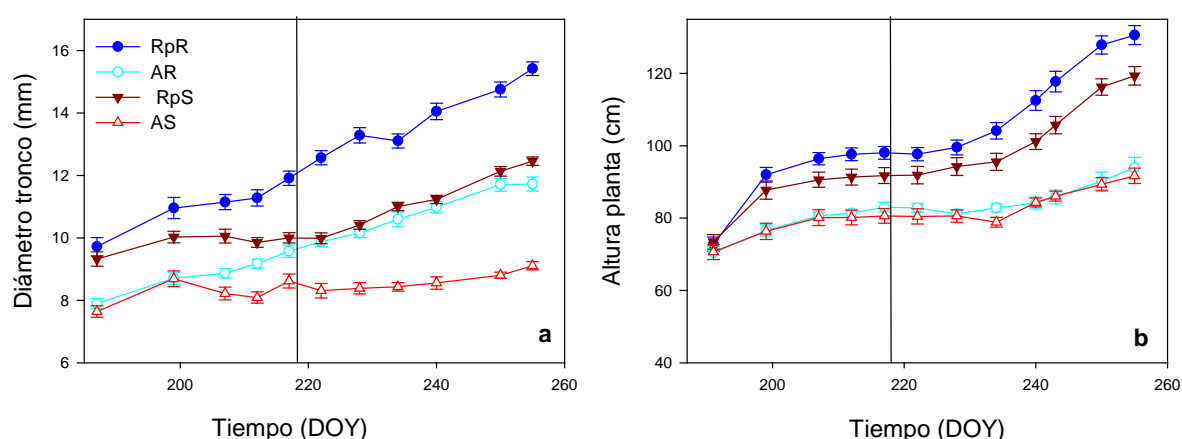
## 4) Resultados y Discusión

El desarrollo de las plantas se vio afectado de forma significativa por el régimen hídrico y la acumulación de biomasa foliar se redujo en las plantas en las que el riego fue suprimido durante 20 días (S) (Tabla 1). Cuando el sustrato estaba bien hidratado, las plantas injertadas en rootpac20 (RpR) fueron las que tuvieron mayor área foliar. Por el contrario, en las plantas que no recibieron aporte hídrico, el crecimiento foliar se vio más reducido en RpS que en AS, (reducciones del 77% y 68% en RpS y AS, respectivamente). La disminución del área foliar en estas plantas se debe a una reducción del número de hojas y del tamaño foliar y también se produjo caída de hojas en estas plantas como consecuencia

del severo estrés hídrico. La producción y pérdida de hojas son parámetros muy sensibles al déficit hídrico y se ven afectados cuando descende la disponibilidad de agua en el suelo. Si tenemos en cuenta este parámetro, Soleta autorradicada (AS) es más tolerante al déficit hídrico que la planta injertada en Rootpac20 (RpS), ya que las reducciones respecto al regadío son menores. Al final del período de recuperación, las plantas AS son las que presentan menor acumulación de biomasa y área foliar, pero las diferencias en el tamaño foliar unitario desaparecen al final de esta fase. En este punto, las plantas del tratamiento AS se igualan en tamaño de hojas al resto de tratamientos, pero siguen teniendo menor número de hojas.

**Tabla 1.** Estudio del crecimiento en plantas de almendro en plantas de almendro autorradicadas e injertadas sobre Rootpac20 (P) y sometidas a distintos tratamientos de riego (R) al final de la fase de estrés (Est) y de la fase de recuperación (Rec). Los valores son la media de 8 plantas.

Fase	Parámetros	RpR	AR	RpS	AS	R	P	RxP
Est	Peso seco hojas (g pl <sup>-1</sup> )	14.9±0.9	12.6±0.9	3.8±0.7	3.6±0.7	***	ns	ns
	Peso seco tallo (g pl <sup>-1</sup> )	25.4±4.5	25.4±2.9	28.5±1.9	16.1±0.8	***	***	ns
	Área foliar total (cm <sup>2</sup> )	1306±66	970±57	297±55	316±67	***	*	*
	Número de hojas	405.0±14.0	336.7±19.9	129.2±22.5	129.3±20.7	***	ns	ns
	Área unitaria (cm <sup>2</sup> )	3.2±0.2	3.0±0.2	1.9±0.2	2.0±0.3	***	ns	ns
Rec	Peso seco hojas (g pl <sup>-1</sup> )	26.3±1.6	14.3±1.4	16.0±16.0	11.6±0.8	***	***	**
	Peso seco tallo (g pl <sup>-1</sup> )	83.9±5.4	33.8±2.5	33.8±33.8	24.2±1.4	***	***	***
	Área foliar total (cm <sup>2</sup> )	2278±197	1120±146.4	1594±89	917±55	**	***	ns
	Número de hojas	491.3±51.9	345.8±48.3	403.8±21.7	215.0±26.4	*	***	ns
	Área unitaria (cm <sup>2</sup> )	4.2±0.3	3.6±0.3	3.9±0.3	4.4±0.3	ns	ns	ns



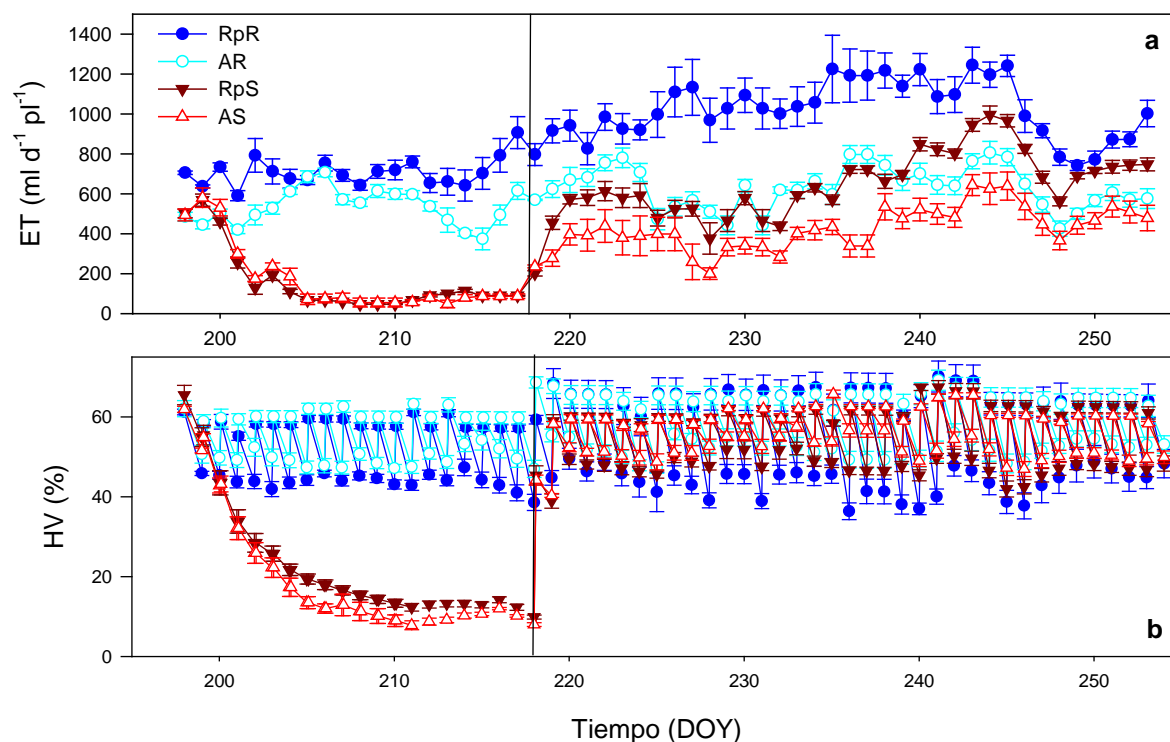
**Figura 1.** Evolución del diámetro del tronco (a) y de la altura de la planta (b) en plantas de almendro autorradicadas e injertadas sobre Rootpac20 y sometidas a distintos tratamientos de riego. Valores son las medias  $\pm$  s.e., n=20. Los símbolos representan los

diferentes tratamientos: RpR (círculo relleno), AR (círculo vacío), RpS (triángulo relleno) y AS (triángulo vacío). La línea vertical representa el cambio de riego.

El estrés hídrico redujo el diámetro del tronco en los dos formatos, pero el patrón Rp marcó de una manera más acusada este comportamiento (Figura 1a). Estas reducciones del diámetro del tronco en las plantas no regadas permanecen al final de la fase de recuperación. De forma similar, la sequía redujo la altura de las plantas Rp, aunque este parámetro no se vio afectado en las plantas autorradicadas (Figura 1b). El crecimiento de la planta se ve habitualmente limitado cuando la disponibilidad de agua en el sustrato disminuye. En nuestro ensayo, la disminución en el crecimiento vino acompañada con la pérdida en el número de hojas, parámetro muy sensible al estrés hídrico (Anyia y Herzog, 2004) y con la reducción del área foliar (Egea et al. 2010). Estas modificaciones pueden tener un papel adaptativo, evitando las pérdidas excesivas de agua, mediante la reducción de la superficie transpirante (Espadafor et al. 2017).

Los valores de evapotranspiración (ET) variaron a lo largo del ciclo y estuvieron estrechamente relacionados con las variables climáticas (T, HR, radiación) (Figura 2a). ET fue mayor en las plantas regadas y se redujo en las plantas no regadas según descendió la humedad volumétrica del sustrato y fue similar en los dos tratamientos no regados durante la fase estrés (Figura 2b). En general, los valores más altos de ET correspondieron a las plantas RpR, aunque estas diferencias entre tratamientos fueron más marcadas según avanzaba el ensayo. Cuando el riego se restableció en las plantas del tratamiento S, los valores de ET aumentaron, pero permanecieron más bajos que las plantas regadas durante todo el ensayo.

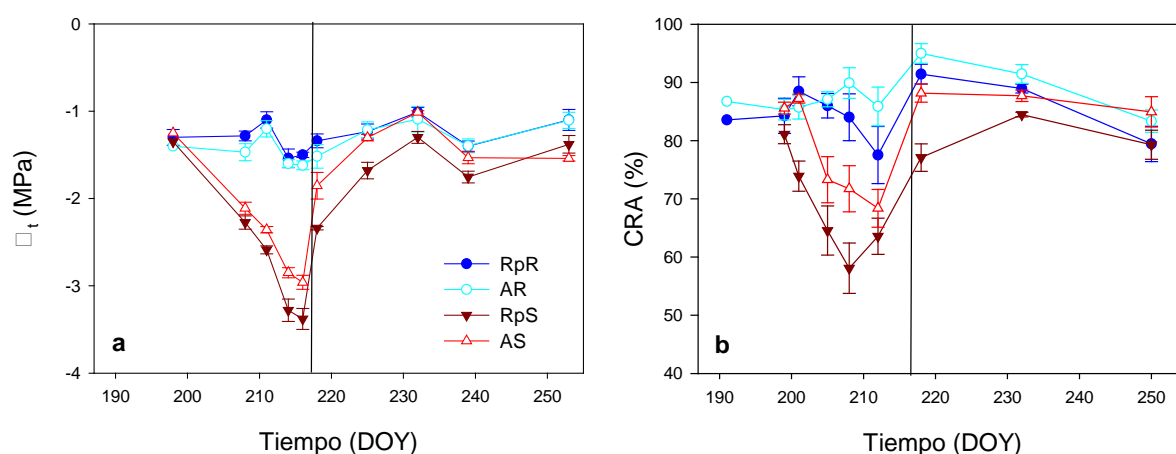
Estas diferencias en el consumo de agua por las plantas son atribuibles a una menor superficie transpirante, como consecuencia de una disminución del área foliar y menor apertura estomática como veremos más adelante, ya que durante la fase de recuperación, las condiciones de humedad del sustrato (HV), parámetro estrechamente relacionado con la ET, fue similar en todos los tratamientos.



**Figura 2.** Evolución de la evapotranspiración de la planta (ET; a) y de la humedad volumétrica del sustrato (HV; b) en plantas de almendro autorradicadas e injertadas sobre Rootpac20 y sometidas a distintos tratamientos de riego. Valores son las medias  $\pm$  s.e., n=5.

Los símbolos representan los diferentes tratamientos: RpR (círculo relleno), AR (círculo vacío), RpS (triángulo relleno) y AS (triángulo vacío). La línea vertical representa el cambio de riego.

El potencial de tallo reflejó el agua aportada en los distintos momentos, provocando desde el inicio, una importante caída del potencial de tallo en las plantas del tratamiento seco, alcanzando valores de  $-3.3$  MPa en las plantas del tratamiento RpS, siendo estas plantas las que presentaron los valores más bajos de contenido relativo de agua foliar (CRA) (Figura 3). Este descenso en el potencial de tallo resulta reversible cuando se restaura el riego en las plantas de almendro, pero las plantas injertadas en Rootpac20 necesitan más tiempo que las plantas autorradicadas para alcanzar los valores de las plantas que habían recibido riego durante todo en ensayo (R). Tanto en condiciones de riego como de seco, las plantas autorradicadas presentaron valores de CRA más altos que las plantas injertadas en Rootpac20, y estas diferencias permanecieron hasta el final del ensayo.

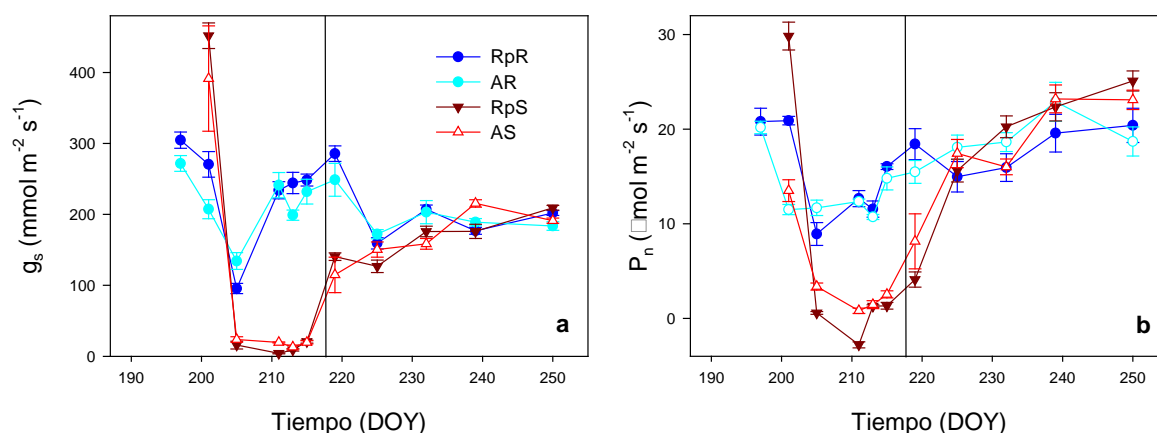


**Figura 3.** Evolución del potencial de tallo ( $\Psi_t$ ; a) y del contenido relativo de agua foliar (CRA; b) en plantas de almendro autorradicadas e injertadas sobre Rootpac20 y sometidas a distintos tratamientos de riego. Valores son las medias  $\pm$  s.e.,  $n=6$ . Los símbolos representan los diferentes tratamientos: RpR (círculo relleno), AR (círculo vacío), RpS (triángulo relleno) y AS (triángulo vacío). La línea vertical representa el cambio de riego.

La supresión del riego produjo un acentuado descenso de la conductancia estomática al mediodía, alcanzando valores muy bajos durante la fase de estrés, lo que sugiere un eficiente control estomático (Figura 4a). Esta reducción de la conductancia estomática se refleja en un control de la transpiración en esta variedad, limitando así la pérdida de agua. El cierre estomático, junto con la reducción del área foliar es uno de los principales mecanismos más efectivos para controlar las pérdidas de agua (Espadafor et al. 2017). Como resultado de este descenso de conductancia, la tasa de fotosíntesis neta fue inevitablemente reducida tanto en las plantas autorradicadas, como en las injertadas en Rootpac20, debido al descenso de la disponibilidad de  $\text{CO}_2$  a nivel del cloroplasto, como ha sido observado en otras variedades de almendro sometidas a condiciones de riego deficitario (Torrecillas et al. 1988; Romero et al. 2004).

El descenso de la fotosíntesis observado en nuestro ensayo fue minimizado en las plantas AS, que presentaron valores de fotosíntesis más elevados que RpS, a pesar de que ambos tratamientos tenían valores similares de apertura estomática, lo que indica una mayor eficiencia intrínseca en el uso del agua ( $P_n/g_s$ ) (Figura 4b).





**Figura 4.** Evolución de la conductancia estomática ( $g_s$ ; a) y de la tasa de fotosíntesis neta ( $P_n$ ; b) en plantas de almendro autorradicadas e injertadas sobre Rootpac20 y sometidas a distintos tratamientos de riego. Valores son las medias  $\pm$  s.e.,  $n=6$ . Los símbolos representan los diferentes tratamientos: RpR (círculo relleno), AR (círculo vacío), RpS (triángulo relleno) y AS (triángulo vacío). La línea vertical representa el cambio de riego.

Durante la fase de estrés, los parámetros de fotosíntesis disminuyeron más acusadamente en las plantas RpS, las cuales también presentaron los más bajos valores de contenido relativo de agua, provocando una importante disminución de los valores de potencial hídrico foliar. El pie franco minimizó este efecto durante la fase de estrés y facilitó la recuperación cuando el riego se restableció, consiguiendo un mejor estado hídrico y una rehidratación más rápida que las plantas injertadas sobre patrón Rp (Figura 3). El restablecimiento del riego también produjo un incremento de la conductancia y de la fotosíntesis de las plantas previamente estresadas (S) y 7 días después del inicio de la fase de recuperación presentaron valores similares a las plantas bien regadas durante todo el ensayo (R), lo que sugiere que son los factores estomáticos los que están más directamente implicados en la respuesta de la fotosíntesis en los niveles de déficit hídrico estudiados y que no hubo daños permanentes en el aparato fotosintético, a pesar de la drástica reducción del aporte hídrico y humedad del sustrato (Figura 4). Cuando se restablece el riego las plantas de Soleta recuperan los parámetros del estado hídrico e intercambio gaseoso a corto plazo, sin embargo los parámetros de crecimiento necesitan más tiempo para alcanzar los de las plantas bien regadas.

## 5) Conclusiones y Recomendaciones

En conclusión, nuestros resultados indican que, aunque la limitación del riego reduce el crecimiento de 'Soleta' en ambos pies creciendo en maceta (A y Rp), las respuestas fisiológicas y morfológicas son diferentes. En condiciones de riego, los dos tipos de plantas podría usarse de forma satisfactoria ya que mantienen una buena calidad. Si bien, las plantas Rp son las que presentan una mayor tasa de fotosíntesis y crecimiento. Pero en condiciones de secano, las plantas soleta autorradicadas fueron más resistentes al déficit hídrico, como consecuencia de un mecanismo efectivo de control estomático, menor deshidratación y una mayor eficiencia en el uso del agua, lo que le permite una recuperación del estado hídrico más rápida cuando se restablece el riego.

## 6) Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado a través del Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER).

## 7) Bibliografía

- Anyia, A.O. & Herzog, H. (2004). Water-use efficiency, leaf area and leaf gas exchange of cowpeas under mid-season drought. *European Journal of Agronomy*, 20:327-339.
- Egea, G., Nortes, P.A., González-Real, M.M., Baille, A., Domingo, R. (2010). Agronomic response and water productivity of almond trees under contrasted deficit irrigation regimes. *Agricultural Water Management*, 97, 171-181.
- Espadafor, M., Orgaz, F., Testi, L., Lorite, I.J., González-Dugo, V., Fereres, E. (2017). Responses of transpiration and transpiration efficiency of almond trees to moderate water deficits. *Scientia Horticulturae*, 225. 6-14.
- Gijón, M.C., Gimenez, C., Pérez-López, D., Guerrero, J., Couceiro, J.F., Moriana, A. (2010). Rootstock influences the response of pistacho (*Pistacia vera* L. cv. Kerman) to water stress and rehydratataion. *Scientia Horticulturae*, 125, 666-671.
- Girona, J. (1992). Estrategias de riego deficitario en el cultivo del almendro. *Fruticultura profesional*, 47, 38-45.
- López-López, M., Espadador, M., Testi, L., Lorite, I.J., Orgaz, F., Fereres, E. (2018). Water use of irrigated almond trees when subjected to water deficits. *Agricultural Water Management* 195, 84-93.
- Romero, P., Navarro, J.F., García, F., Botía Ordaz, P. (2004). Effects of regulated deficit irrigation during the pre-harvest period on gas Exchange, leaf development and crop yield of mature almond trees. *Tree physiology*, 24, 303-312.
- Torrecillas, A., Ruiz-Sánchez, M.C., del Amor, F., León, A. (1988). Seasonal variations on water relations of *Amygdalus communis* L. under drip irrigated and non irrigated conditions. *Plant Soil*, 106, 215-220.